



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

中国联通 5G URLLC 技术白皮书

中国联通

2019 年 11 月

目 录

1 引言.....	1
2 URLLC 发展趋势.....	1
2.1 业务发展.....	1
2.2 技术发展.....	2
3 URLLC 场景端到端技术保障方案.....	3
3.1 无线网 URLLC 关键技术.....	3
3.1.1 无线网络的灵活配置.....	3
3.1.2 低时延增强技术.....	4
3.1.3 高可靠增强技术.....	9
3.2 核心网 URLLC 增强技术.....	10
3.2.1 低时延保证.....	10
3.2.2 高可靠保证.....	13
3.3 传输网 URLLC 保障技术.....	15
3.3.1 层 3 VPN 边缘部署.....	16
3.3.2 分组设备低时延转发.....	17
3.3.3 SR 隧道选取.....	17
4 URLLC 场景网络部署方案.....	17
4.1 端到端网络切片方案.....	17
4.2 边缘云方案.....	18
4.3 核心网功能单元部署方案.....	20
4.4 无线网部署方案.....	21
4.4.1 URLLC 软件功能适配方案.....	21
4.4.2 面向用户的 5G URLLC 无线网络方案.....	22

5 关键问题及挑战.....	25
6 总结与展望.....	26
缩略语.....	28

1 引言

随着无线网络用户以及流量红利的消退，运营商在网络演进规划中，单纯提升已有用户的现有业务体验已无法满足未来发展的需求。而在无线网络更新迭代的过程中，与行业应用相结合，利用无线网络提升行业生产力以及服务能力的诉求也愈发强烈。

5G 在网络架构及软件功能设计之初，充分考虑了行业应用对于无线网络性能指标的需求，完备的软件功能与飞速提升的硬件能力相结合，使得 5G 在容量、频谱效率、时延及可靠性等多项关键指标方面都取得了极大的性能提升。因此，在典型的 eMBB、mMTC 以及 URLLC 场景下，5G 网络将可以充分满足不同特征应用的网络服务需求。

中国联通一直致力于推动 5G 技术发展以及网络商业化部署，并针对典型的 eMBB 场景，发布了一系列研究成果以及后续规划。本白皮书面向 5G 网络 URLLC 典型应用场景，介绍了端到端 URLLC 的关键技术以及潜在的网络部署方案，旨在通过 5G 网络升级支持 URLLC 技术，提升中国联通 5G 网络的品牌竞争力，实现在行业领域的突破，完成网络精细化运营的目标。

2 URLLC 发展趋势

2.1 业务发展

无线移动通信网络历经由 1G 模拟通信到 2/3/4 G 数字通信的发展历程后，网络承载的业务也实现了话音业务为主、话音与流量业务并重以及流量业务为主的发展道路变迁。4G 时代，移动互联网业务飞速发展，移动互联网应用百花齐放，运营商的流量收入也正式跃居话音收入之上。

5G 时代，秉承“技术驱动业务”的发展理念，结合已有的网络运营经验以及业务特点，ITU 提出了 eMBB、URLLC 以及 mMTC 三大 5G 典型应用场景，在无线网络以速率、容量为主的关键指标上，引入了对时延、可靠性以及连接数等不同网络指标的需求。因此，相比传统的移动通信网络，5G 网络面向的用户以及可承载的业务将发生颠覆性的改变。

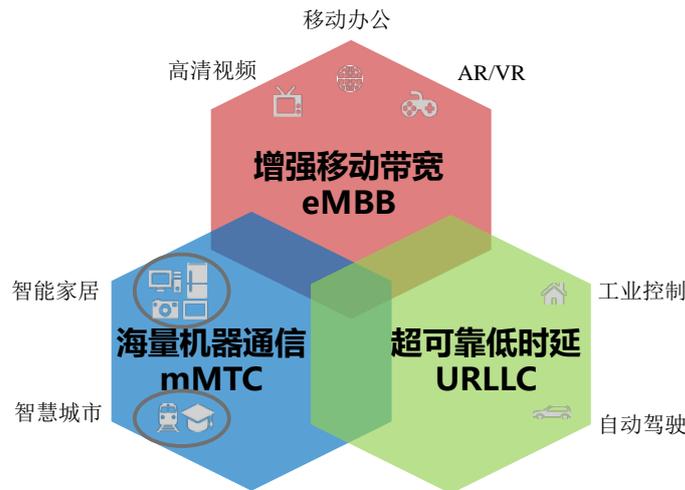


图 1 5G 典型应用场景

URLLC 场景主要包含了对网络时延以及可靠性有超常规需求的应用，典型业务主要分布于工厂、电力以及交通等垂直行业领域。而即使对单一的垂直行业分析，每一行业内不同的应用也具有不相同的网络需求。因此，网络对 URLLC 技术升级的同时，也需要运营商综合考虑运用 MEC、网络切片等关键技术，制定多样化的网络部署方案，以适配不同的行业和应用。面向 URLLC 业务的网络发展也将打破同质化网络的运营商间竞争关系，为通信行业的发展开拓全新的市场空间。

URLLC 业务发展的前景是美好的，但前路也将是坎坷的。5G 网络提供了突破原有移动通信行业局限性的可能，真正实现无线通信和垂直行业领域的深度融合，需要运营商深入挖掘行业需求，与自身网络建设和运维管理的优势相结合，提供真正匹配行业用户需求的端到端解决方案，充分发掘 5G 网络的新价值。同时，运营商在开拓 URLLC 新业务的道路上，也需要行业上下游合作伙伴的共同努力和协作。

2.2 技术发展

5G 网络 URLLC 场景最重要的性能指标为通信时延以及可靠性。ITU 定义的 5G 网络 URLLC 场景下的时延与可靠性指标为：

- **时延：**用户终端与基站设备单向的用户面通信需要具备达到极限时延 1 ms 的能力；
- **可靠性：**城区宏站场景下，32 bytes 的层 2 SDU 数据包在覆盖边缘的信道质量下，1 ms 内成功传输的概率为 99.999%；

因此，为了满足 ITU 定义的 URLLC 场景极限性能指标，5G 网络的空口设计进行了充分的考虑：空口时延增强主要考虑了增大子载波间隔、缩小时域最小调度单元的底层设计；针对上行调度授权、上下行传输反馈等多种通信流程面向低时延通信进行了优化；此外，5G 空口提供了上下行链路的资源抢占机制，以缩短 URLLC 业务在缓存区的等待时延。而可靠性增强，除调制编码方案的增强外，主要通过冗余传输实现可靠性的保障，其中包括了协议栈高层数据包的复制备份以及物理层重复传输等多种方案。

除了无线侧的增强技术，中国联通在 URLLC 场景下，将整体考虑端到端的 URLLC 业务保障方案，其中包括核心网的 QoS 保障策略、链路冗余策略、网元下沉策略以及传输网的拥塞控制以及快速转发等技术方案，此外，也将与中国联通的 MEC、网络切片等部署方案相结合，打造定制化的通信网络，按需满足 URLLC 通信需求。

3 URLLC 场景端到端技术保障方案

3.1 无线网 URLLC 关键技术

3.1.1 无线网络的灵活配置

“灵活”是 5G 网络的重要特征之一，为了支持低频、中频以及毫米波多种频段和不同带宽的通信，在考虑设备实现复杂度的情况下，5G 网络定义了灵活可配的多种子载波间隔：低中频支持 15 kHz、30 kHz、60 kHz 的子载波间隔配置，而毫米波频段可以支持 60 kHz、120 kHz 的子载波间隔配置。子载波间隔的大小决定了最小的 OFDM 符号长度，因此，更大的子载波间隔也更有利于单位调度时延的降低，有利于 URLLC 通信的低时延保障。

“控制+业务”的传输机制是蜂窝通信网络设计的重要原则，5G 在无线接入网的上下行控制信道方面，设计了不同能力的配置方案。下行控制信道通过 CORESET (Control Resource Set, 控制资源集) 承载，而 CORESET 在时域以及频域均支持灵活起始 OFDM 符号、灵活子载波的配置，时域的灵活配置可以缩短控制信息与数据信息的时间间隔，有利于时延降低。此外，上行控制信道支持短格式 UCI 的传输，通过配置短格式 UCI，有利于降低 URLLC 业务数据的反馈时延，优化业务时延的体验特性。

参考信号的合理设计是实现无线通信系统可靠传输的重要保障，5G 网络采

用 DMRS 辅助完成信道估计以及信息解调，保障信息传输的可靠性。在 DMRS 的设计中，控制信道以及数据信道均包含了 DMRS，尤其是针对数据信道，支持前置的 DMRS 配置方案，通过提早接收机开始信道估计的时间，可以有效降低数据解码所需时间。此外，5G 网络支持多个 DMRS 发送时刻的配置，通过增加 DMRS 时域密度，可以提高数据传输的可靠性。

此外，双工方式、TDD 帧结构、BWP 等不同的 5G 网络部署配置方案，会对业务体验带来不同的网络时延以及可靠性影响。通过合理配置 5G 网络功能和参数，一定程度上也有利于 5G 网络在 URLLC 场景中的部署。

3.1.2 低时延增强技术

3.1.2.1 非时隙调度

4G 与 5G 网络均支持在时域采用连续的 14 个 OFDM 符号为粒度，进行业务数据传输。以 15 kHz 的子载波间隔为例，每次调度占用的时长为 1 ms，而即使在 30 kHz 的子载波间隔情况下，14 个 OFDM 符号的占用时长仍需 0.5 ms，对于有极低时延需求的 URLLC 业务，该调度粒度仍然有优化的必要。

实现业务的“随到随传”在部分 URLLC 场景下是至关重要的，5G 网络在业务的调度机制中制定了基于 slot 以及 mini-slot 的调度方案，两种调度方案的主要区别在于一次调度中包含的 OFDM 符号数以及调度的起始位置。基于 mini-slot 的业务调度可以实现在上下行链路中采用较少的 OFDM 数这种更小的调度粒度完成业务的传输，而且调度起始位置不需要与时隙起始位置对齐，可以灵活配置调度起始位置，降低业务传输所占用的时间。3GPP 定义的基于 slot 及 mini-slot 传输的配置如下表所示：

表 1 基于时隙与非时隙调度的配置

调度方案		普通循环前缀		扩展循环前缀	
		起始符号	调度符号	起始符号	调度符号
下行	slot 级调度	{0,1,2,3}	{3,...,14}	{0,1,2,3}	{3,...,12}
	mini-slot 级调度	{0,...,12}	{2,4,7}	{0,...,10}	{2,4,6}
上行	slot 级调度	0	{4,...,14}	0	{4,...,12}
	mini-slot 级调度	{0,...,13}	{1,...,14}	{0,...,12}	{1,...,12}

3.1.2.2 配置授权调度

基站作为蜂窝无线接入网的控制单元，负责所有上下行业务的数据调度。终端存在上行调度需求时，需要向基站申请调度授权，以获取相关的调度参数及时频域资源等信息。5G 网络支持传统的业务调度机制，该机制下终端与基站的调度请求及授权交互需要跨越多个时隙，在 URLLC 场景下，该机制将带来较大的数据发送等待时延。

上行配置授权调度机制采用了基于非动态授权的业务传输方案，基站发送 RRC 消息对上行传输的周期、时频域资源、MCS 等参数进行配置，通过激活相关授权，在业务数据到达后，终端即可以进行多次上行传输。5G 网络支持 Type 1 及 Type 2 两种配置授权激活方案，其中，Type 1 方式下，终端在接收到 RRC 消息后，根据时域偏置进行授权配置的激活；Type 2 方式下，终端通过接收 DCI 消息激活配置授权。

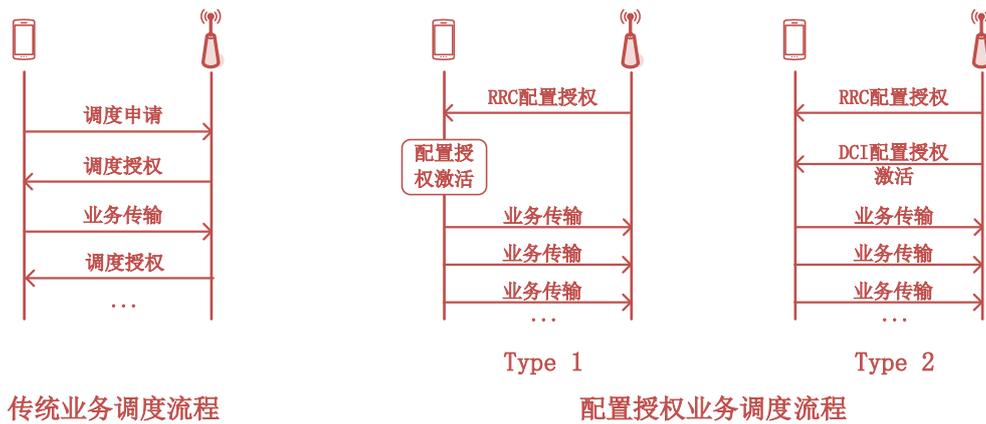


图 2 配置授权调度

3.1.2.3 传输反馈增强

3.1.2.3.1 基于 CBG 的 HARQ-ACK

5G 网络的业务数据支持以 TB (Transmission Block, 传输块) 为粒度进行调度传输，一个 TB 可能包含非常多比特，LDPC 编码下，TB 中的一个 CB (Code Block, 编码块) 最大可以有 3840 或 8448 比特，而一个 TB 可以包含数十个以上的 CB。在 TB 传输发生错误的情况下，存在一个 TB 内部可能只有少数 CB 产生误传的情况，以基于 TB 的 HARQ 机制进行完整传输块的重传，会造成物理层资源的浪费。

通过将 CB 分组形成 CBG (Code Block Group, 编码块组), 以 CBG 为粒度, 设计基于 CBG 的 HARQ 机制进行重传, 可以仅重传包含错误 CB 的 CBG。因此, 基于 CBG 的反馈可以降低重传的资源消耗, 间接提升网络的频谱效率。此外, 在资源复用的场景下, 基于 CBG 的反馈可以在保障 URLLC 业务低时延的同时, 降低 eMBB 业务的受影响程度。

一个 TB 中可配置的 CBG 数量包括:

表 2 CBG 配置

	单码字	多码字
可配置最大 CBG 数量	2,4,6,8	2,4

3.1.2.3.2 无序 HARQ-ACK

在 URLLC 类业务与常规 eMBB 业务并发的场景下, 若配置 URLLC 类业务具有更高的处理与反馈优先级, 存在 URLLC 类业务后到但需要优先处理与反馈的需求。5G 网络支持相应场景下无序的 HARQ-ACK 反馈过程。

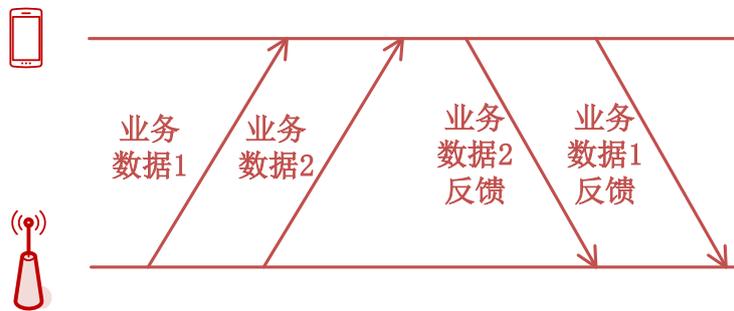


图 3 无序 HARQ-ACK 流程示意图

在无序的 HARQ-ACK 反馈进程中, 考虑用户终端处理能力受限的情况, 终端在处理后到的业务数据 2 并完成反馈的过程中, 先到的业务数据 1 可能会存在不能完成处理的情况。目前, 终端存在 4 种潜在的行为约束方案, 相关的技术细节正在完善过程中, 未来存在方案收敛的需求。

- **方案一:** 终端以处理业务数据 2 为常态, 业务数据 1 可以丢掉, 也可以保留;
- **方案二:** 终端需要无条件的满足处理业务数据 1 和业务数据 2 的能力;

- **方案三：**在一定条件下，终端需要同时处理业务数据 1 和业务数据 2，例如：采用载波聚合能力。该条件需要以终端能力上报为准，如果条件不满足，终端的行为不定义；
- **方案四：**终端丢弃/终止业务数据 1：
 - 选项一：终端总是丢弃业务数据 1；
 - 选项二：需要定义相关调度条件，如果不满足，终端丢弃业务数据 1；

对于多种业务混合调度的场景，根据业务的时延敏感程度，综合考虑业务调度的顺序，而非单一的根据业务调度信令的先后顺序进行业务调度与反馈，实现调度与反馈的增强，可以从策略上提供了对于时延需求敏感的 URLLC 业务的优先传输机制，增加了 URLLC 业务在混合业务传输场景下传输的性能保障。

3.1.2.3.3 时隙内多 HARQ 反馈

面向 URLLC 业务，在单次传输失误的情况下，降低数据传输反馈的时延，在业务时延允许范围内完成重传是提升用户业务体验的重要方案之一。

随着 5G 网络对非时隙调度的支持，在终端业务并发的场景下，可以在一个时隙内完成多次基于 mini-slot 的数据传输，因此，在一个时隙内完成对多次基于 mini-slot 传输数据的反馈是优化反馈时延的重要方向之一。提升可携带 HARQ 的 PUCCH 数量以及每个 PUCCH 中可携带的 HARQ 码本数量可以实现时隙内多 HARQ 的反馈，方案具体细节的制定工作目前仍处于研究讨论过程中。

时隙内多 HARQ 反馈机制的增强设计，意味着 5G 网络对 URLLC 业务低时延特性支持度更加成熟，也可以提升 5G URLLC 网络应对不同 URLLC 应用场景的灵活性与普适性。

3.1.2.4 下行资源复用

5G 网络下，低优先级业务与高优先级业务存在并发的场景，低优先级业务的时延容忍度较高，可以采用基于 slot 的调度方式，当高优先级业务触发后，为满足其业务的时延需求，网络可以将已分配用于低优先级业务调度的空口资源复用于高优先级业务，保障高优先级业务的随到随传。在资源复用的场景下，低优先级类业务将受到影响，因此，需要网络发送相关的 PI（Preemption Indication，抢占指示）信息，向低优先级业务的终端指示业务潜在的受损风险。

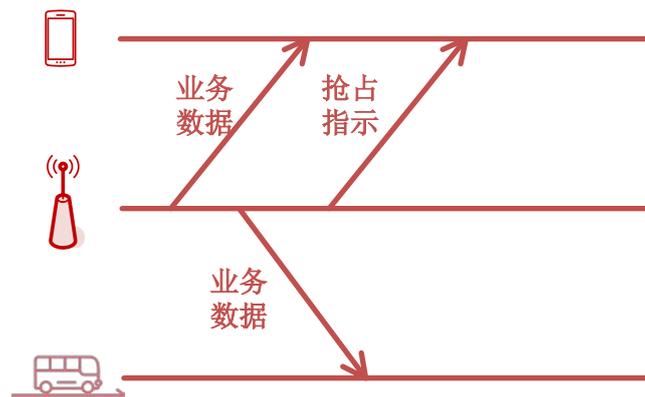


图 4 下行资源复用示意图

下行的资源复用需要考虑同一终端内部的资源复用以及不同终端间的资源复用。在下行资源复用的场景下，可以由网络向低优先级业务的终端发送专用的 DCI Format 2_1 格式的信息进行复用资源的指示，该格式 DCI 指示了低优先级终端被抢占的资源情况，该 DCI 可以由高层进行配置。

下行动态资源复用的机制为 eMBB 业务与 URLLC 业务共存场景下业务传输提供了有效的资源保障与复用方案，提升了业务共存场景下的资源利用效率，并保证了 URLLC 业务的低时延特性，同时也将对于 eMBB 业务终端的影响降到了最低。

3.1.2.5 上行资源复用

5G 网络支持上行的资源复用机制，相比于下行的资源复用机制，上行资源复用需要结合终端行为完成动态调度处理，因此，设计难度远比下行复杂，目前上行动态资源优先与复用的机制正在完善过程中。

上行资源复用确定了两种不同的复用方案。第一种是设立上行发送取消机制：以保障低时延业务优先传输为原则，基于上行取消的信令指示，当业务资源发生冲突时，优先级较低的业务可通过发送上行取消指示，取消正在传输的上行数据或还未开始的上行数据。其二为通过动态功率提升的方式，增大优先级较高的业务的发射功率，而优先级较低的业务则保持原有发射功率不变。两种方案可以由运营商依据应用场景以及部署需求自由选择。

相比传统上行仅采用时频资源的硬分割方案来保障业务调度的传输方式，引入上行动态资源的优先与复用机制可以进一步提升 URLLC 业务调度的灵活性与网络资源利用效率。

3.1.3 高可靠增强技术

3.1.3.1 下行控制消息增强

在业务调度与发送的过程中，灵活与适配的 DCI 设计是数据传输的基础。对于 URLLC 业务，针对其业务调度特性的 DCI 设计也可从另一个方面保障 URLLC 的业务特性。

URLLC 场景下，考虑了专有的上下行 URLLC 业务调度的 DCI 设计方案。首先从可靠性方面，减小 URLLC 业务调度所使用的 DCI 的最小比特数，可以降低对物理层资源的需求，且在相同聚合等级下可以支持更低的码率，进一步增加了传输的可靠性并缓解控制消息调度阻塞的概率。而在灵活性方面，设计了更多可配置的 DCI 域，使得 URLLC 业务调度在不同场景下都可得到适配。对于下行控制消息的增强工作仍需要完善研究工作。

3.1.3.2 调制与编码方案增强

调制与编码方案是影响数字通信可靠性的重要因素，5G 网络面向保障 90% 以及 99.999% 的可靠性要求，分别设计了 5 套上行、3 套下行可用的调制编码方案。在 URLLC 场景下，为了满足 99.999% 的可靠性要求，引入了 $\pi/2$ BPSK 的调制方案，同时可以支持更低的编码效率，通过降低 MCS 等级的方案，可以在恶劣信道环境以及边缘覆盖中进一步增强 URLLC 单次业务传输的可靠性。此外，提高单次传输的可靠性，可以降低业务对重传的需求，从而间接减小业务时延。

3.1.3.3 重复传输

3.1.3.3.1 物理层重复传输

数据采用不同冗余版本进行重传是 HARQ 过程的典型特征。5G 网络在 URLLC 场景下，在无传输反馈的前提下，可以将不同冗余版本的数据在物理层不同时间隙重复传输。而通过该物理层重复传输机制，接收端可以获取额外的分集与数据合并增益，从而实现传输数据可靠性的提升。后续为了支持对极限时延需求业务的可靠性增强，可以考虑进一步在 mini-slot 机制下实现物理层的重复传输机制。

3.1.3.3.2 PDCP 层数据复制

PDCP 数据复制是 5G 网络高层基于载波聚合或双连接提升可靠性的传输方式。该传输方式下，相同的数据包将会被复制为多份，经不同的无线空口资源进行传输，从而在接收端可获取相应的分集增益以提升传输可靠性。

PDCP 数据复制，会在 PDCP 层将同一份数据包复制多份，映射到不同的逻辑信道，对应不同的 RLC 实体，原始的 PDCP 数据包和复制的 PDCP 数据包将会在不同的载波上进行传输。当在载波聚合的场景下，不同的逻辑信道属于相同的 MAC 实体，而在双连接的场景下，不同的逻辑信道属于不同的 MAC 实体。

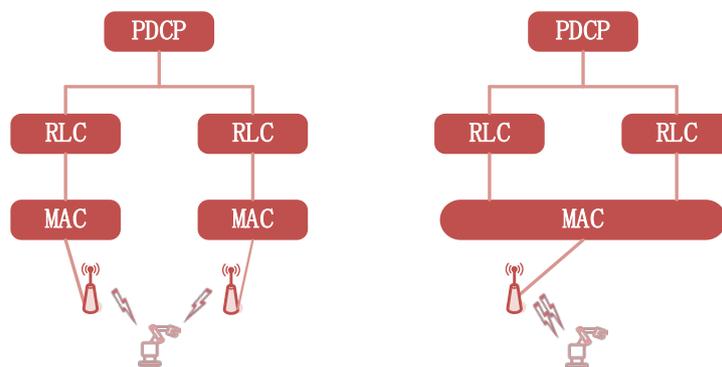


图 5 PDCP 层数据复制流程示意图

对于 URLLC 而言，PDCP 数据复制也是在时延保证的基础上进行可靠性提升的一种手段，相对于重复发送对于时延的控制更为灵活。然而，也为可靠性的提升牺牲了一定的无线资源，降低了无线资源的利用效率。在 5G NR 标准的演进中，在进一步优化 PDCP 数据复制机制，如加大了复制数据包的最大份数；设置更为灵活的数据包复制、丢弃等处理机制，以提升资源利用效率。

3.2 核心网 URLLC 增强技术

3.2.1 低时延保证

无线网络端到端时延包括了终端到基站的空口时延以及基站到核心网 UPF 的之间的传输时延，此外，还包括各类业务的业务计算与处理时延、UPF 到 LADN 本地网内的传输时延以及 LADN 内部的拥塞时延。空口时延可以通过无线侧 URLLC 增强技术进行优化；业务计算与处理时延可以优化业务自身流程和计算处理单元结构来完成；LADN 本地网内部的拥塞情况主要影响信令下发和业务结果上传，需要优化 LADN 内部网络架构和信令流程来实现。本节主要聚焦核心

网低时延保证的几种方法。

3.2.1.1 用户面网元下沉

基站到核心网 UPF 之间的传输时延，主要受到 UPF 网元部署位置的影响。目前，UPF 可选的部署位置覆盖整个通信云，包括各级区域 DC 与边缘 DC。UPF 部署位置越高，其服务业务覆盖范围就越广，同时基站与 UPF 交互所需的时延也越大。为了支持低时延通讯，应该尽可能的减少基站到 UPF 之间的转发跳数、传输光纤长度和汇聚网元的数目，以降低基站到核心网之间的传输时延。因此，需要将 UPF 尽量部署在靠近基站的位置，从物理上降低基站到 UPF 的传输距离，同时保证传输不上承载网，减少拥塞的可能性。但 UPF 下沉也会导致核心网用户面网元的覆盖范围受限，且需要进行低层级机房的按需改造，一定程度会加大 5G 网络的建设成本。

3.2.1.2 控制面网元下沉

为了满足 URLLC 场景下控制面信令的实时处理需求，可以在部分场景考虑将 SMF、AMF 等控制面网元，同 UPF 一起下沉部署，部署于边缘云平台，实现 UPF、SMF 等众多虚拟化网元与 MEC 业务的共平台部署。控制面网元的下沉可以实现用户面控制面同位置部署，避免控制面信令回传受传输时延和承载网拥塞的影响，保障实时信令交互和处理。

3.2.1.3 控制与转发分离

控制和转发分离是支持低时延通信的潜在关键技术之一。控制和转发分离的 PFCP 协议定义了如下规则：数据包检测规则 PDR、数据包转发规则 FAR、用量上报规则 UUR、缓存处理规则 BAR、QoS 执行规则 QER 和多接入规则 MAR。控制面 SMF 根据 PCF 提供的面向 URLLC 通信场景的策略和本地配置，可以生成相关规则并发送给 UPF，更好的保障端到端通信时延与可靠性。

3.2.1.4 边缘计算

5GC 从设计之初即考虑对边缘计算的支持，定义了多种机制，包括通过上行分类器或者分流点进行上行数据分流机制、应用触发数据分流机制、用户面变化上报、本地接入数据网络等，因此 5GC 将比 4G 核心网更好地支持边缘计算。

但边缘计算也需要端到端的支持情况，从终端、网络到业务，从基础设施资源管理到应用的动态编排以及应用的移动性角度考虑，还有诸多关键问题需要进一步解决，相关标准也正在加快制定中。

目前，5G 对于边缘计算的支持仅限于连续性保证和本地分流等功能，URLLC 场景下需要边缘侧具有较强的路由快速转发、本地低时延高效处理、用户面增强等功能，需要进一步完善相关技术与研究与验证。

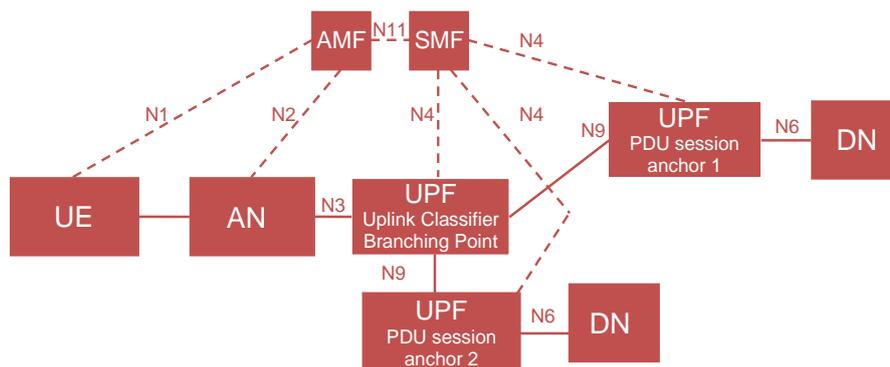


图 6 边缘计算架构示意图

3.2.1.5 QoS 增强

3.2.1.5.1 5QI 的定义

为了辅助支持空口的低时延，3GPP 定义了一些新的 5QI，针对垂直行业的应用，还定义了新的以时延为主的 GBR 类型，该类型通讯主要特征应对周期性突发的数据传输，新增一个 QoS 参数用于指示最大突发性数据量。针对不同垂直应用，定义了 82、83、84 和 85 等新的 5QI，建立 PDU 会话的过程中，基站可以根据新的 5QI 进行资源调度，以支持空口低时延高可靠通信。

3.2.1.5.2 QoS 监控

QoS 监控可以完成终端和 PSA UPF 之间数据包时延的测量，包括无线空口以及无线基站与 PSA UPF 之间的上行/下行数据包时延。通过时延的监控和测量，可以实施对 URLLC 业务进行低时延的保障。其中，无线接口的时延由 NG-RAN 提供，而无线基站与 PSA UPF 之间的时延可在 2 个级别进行监控，即终端每 QoS 流级别和每 GTP-U 路径级别。

- **终端每 QoS 流级别的 QoS 监控方案**

PCF 可以根据 AF 的 QoS 监控请求为业务数据流生成授权的 QoS 监控策略，PCF 将该策略包含在 PCC 规则中发送给 SMF。

SMF 在 PDU 会话建立或修改过程中向 NG-RAN 和 PSA UPF 发送 QoS 监控请求。根据该请求，NG-RAN 监控无线空口的上行/下行数据包时延，并将测量结果上报 PSA UPF；PSA UPF 和 NG-RAN 监控二者之间的时延。最终，PSA UPF 可以依据上述 2 个时延计算出自身与终端之间的上行/下行数据包时延。如果该时延满足特定的条件，如达到了向 SMF 发送报告的阈值门限，则 PSA UPF 将时延上报 SMF。

通常，NG-RAN 和 PSA UPF 之间可能时间同步，也可能不同步。若 NG-RAN 和 PSA UPF 时钟同步，则 NG-RAN 和 PSA UPF 可以根据 GTP-U 头中的时间戳和本地时间计算二者之间的单向数据包时延。若时钟不同步，则为触发监控过程，PSA UPF 向 NG-RAN 发送下行监控数据包，并在数据包的 GTP-U 头中包括 QFI、TEID、序列号和 QMP 指示，同时记录发送数据包的本地时间。NG-RAN 接收到下行监控数据包，记录 GTP-U 头中的序列号和接收到数据包的本地时间，然后监控自身和终端之间的数据包时延。

- **GTP-U 路径级的 QoS 监控方案**

该方案中，SMF 通过 N4 接口和 N2 接口分别向 UPF 和 NG-RAN 节点发送 QoS 监控策略，UPF 和 NG-RAN 根据该策略执行 QoS 监控。

为了监控传输路径时延的变化，GTP-U 的发送者周期性地计算 RTT 以及对比累计数据包时延和本地存储的 QoS 参数中的期望时延，如果高于期望时延，则 GTP-U 发送者向控制面网络功能，如 SMF 或 OA&M 功能发送 QoS 监警告警信令。其中，RTT 是 GTP-U 发送者和 GTP-U 接收者之间的往返时延，该时延可以基于 Echo 请求/应答消息完成测量，累计数据包时延是 RTT/2、本地处理时延和直接上游 GTP-U 发送者提供的累计数据包时延的总和。

3.2.2 高可靠保证

在 5G 端到端通信达有高可靠性要求的场景下，空口技术、传输技术以及核心网技术均需要进行增强以满足高可靠性需求。

数据传输过程中的可靠性主要通过建立备份路径来保证。目前出现的备份传输路径方案分为三种：建立双 PDU 会话进行端到端的备份数据传输；建立双

核心网隧道进行核心网内的备份数据传输；建立传输层备份路径进行数据传输。

3.2.2.1 基于双 PDU 会话的备份传输

为了支持高可靠性服务，终端可以在 5G 网络中建立两个冗余 PDU 会话，两个 PDU 会话要求使用通过不同的基站、不同的 UPF，使核心网建立的两个冗余 PDU 会话的用户面路径不相交。基站通过双连接或者 CU/DU 分离等技术，实现两个 PDU 会话通过不同基站传输，应用层完成数据包复制和冗余数据包的检测。

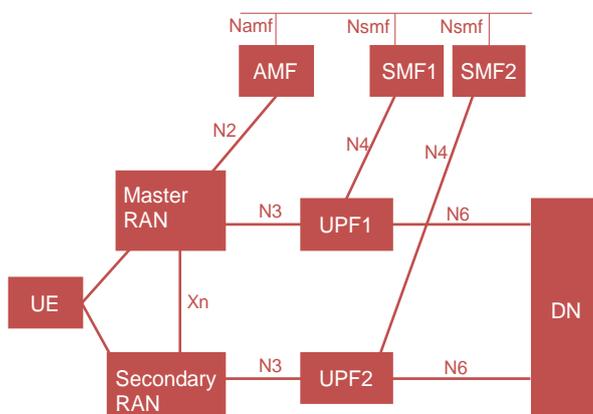


图 7 双 PDU 会话示意图

3.2.2.2 基于双核心网隧道的备份传输

基于双核心网隧道的备份传输方案可以用于 N3 隧道可靠性的增强。该方案通过建立冗余传输，通过将两个独立的 N3 隧道部署在锚点 UPF 与 RAN 之间，关联到同一个单独的 PDU 会话，实现可靠性的提升。为了确保两个 N3 隧道通过不相交的传输层路径传输，SMF 或 PSA UPF 应在隧道信息中提供不同的路由信息，并且将这些路由信息根据网络部署配置映射到不相交的传输层路径。

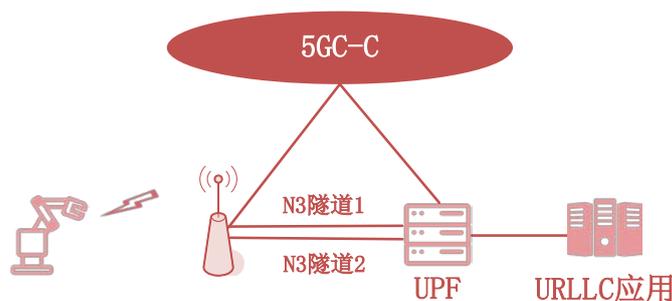


图 8 双核心网隧道备份示意图

在 URLLC 场景下 QoS 流建立过程中，若 SMF 决定冗余传输基于授权的 5QI、NG-RAN 节点能力和/或运营商配置来执行，则 SMF 通知 PSA UPF 与 NG-RAN 相应地通过 N4 与 N2 接口执行冗余传输。对锚点 UPF 从数据网络接收到对应该 QoS 流的每个下行数据包，锚点 UPF 复制数据包，分配相同的用于冗余传输的 GTP-U 序号。对于无线基站从终端接收的对应该 QoS 流的每个上行数据包，NG-RAN 复制数据包，分配用于冗余传输的相同 GTP-U 序号，锚点 UPF 基于 GTP-U 序号减少复制的数据包。

3.2.2.3 业务连续性增强

为了减少或避免在 PDU 会话锚点更换时出现业务中断和丢包，5G 核心网应支持与应用功能单元的实时协作。URLLC 场景对于可靠性和业务连续性提出了更高的要求，因此需要避免业务在切换过程中丢包。

核心网 AF 在向 SMF 订阅事件时，会提供“AF 期待的确认消息”指示，SMF 根据该指示，可以在选择新的 DNAI 时，不立刻激活到新 DNAI 的用户面路径，而是向 AF 发送通知并等待 AF 关于应用层是否准备好的响应。SMF 发送给 AF 的通知中会指示用户面路径的管理事件，如 PSA 改变或 DNAI 改变。AF 根据该通知决定是否需要执行应用重定位，如果不需要，AF 可以立即向 SMF 提供正面响应，指示应用层准备好；否则，AF 在应用重定位完成后提供正面响应或者在决定应用重定位不能按时完成时提供负面响应。

AF 在发送给 SMF 的正面响应中还可以提供与新 DNAI 相关的 N6 流量路由信息。一旦 SMF 收到正面的 AF 响应，则 SMF 可激活到新 DNAI 的用户面路径。在激活用户面路径时，SMF 向用户面的 PSA 配置 N6 流量路由信息。当激活到新 DNAI 的用户面路径后，数据将被路由到新的 DNAI。如果 SMF 收到负面响应，SMF 会保持使用之前的 DNAI 并取消 PSA 重定向过程。

3.3 传输网 URLLC 保障技术

在 URLLC 网络部署过程中，考虑其初期主要面向垂直行业领域，网络覆盖主要是点状的区域性覆盖，针对有极限时延需求的应用场景，更适用核心网 UPF 下沉部署的方案，以进一步降低传输网带来的业务端到端时延影响。而时延需求相对宽松的应用场景，在不考虑私有网络建设方案时，会存在传输网对于 URLLC 业务时延以及可靠性的影响。

传输网时延由光纤传输时延和设备转发时延组成，其中光纤传输时延 5

us/km，按照中国联通 IP-RAN2.0 技术规范要求，接入设备转发时延小于 15us，核心设备转发时延小于 30us，以城域网接入环 40KM，汇聚机房到核心机房距离 400KM 的情况分析，其时延如下：

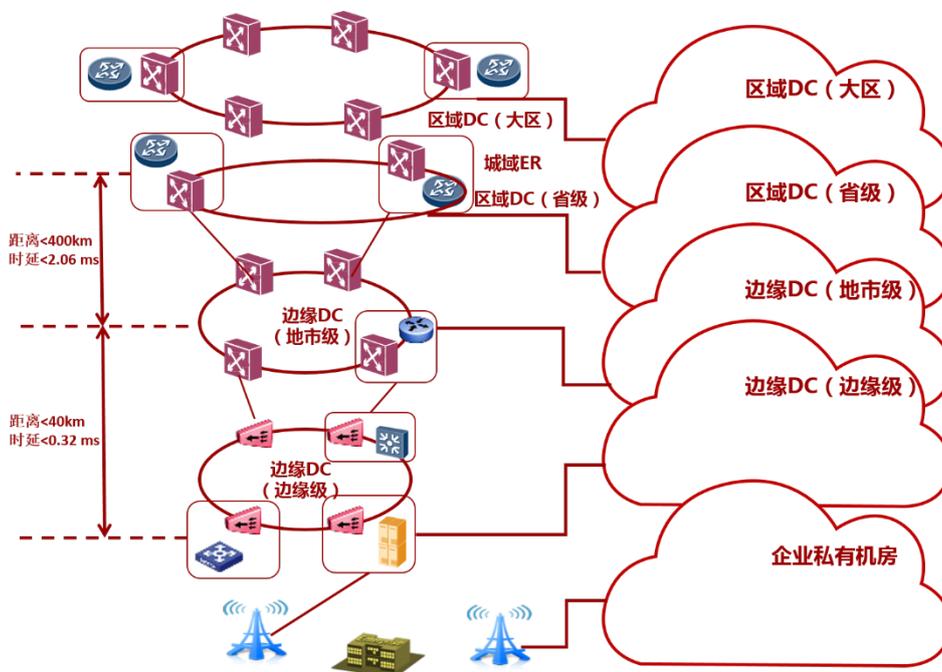


图 9 传输网架构示意图

接入层最大时延 0.32ms，端到端最大时延 2.38ms，传输网可以满足 eMBB 和部分 URLLC 业务低时延的需求。传输时延主要由光纤传输引入，占比 90%以上，因此，对于极限指标需求的 URLLC 业务，核心网 UPF 结合 MEC 下沉部署是降低业务时延的关键。此外，需要结合路径优化方案降低传输设备处理时延，以实现整体降低传输网时延的目标。

3.3.1 层 3 VPN 边缘部署

5G 网络具备组网超密集的特征，基站密度提升的同时，站间协同是 5G URLLC 组网的潜在关键技术之一，而站间的东西向流量带宽需求也会增加。通过将传输网层 3 VPN 下沉部署在接入层，减少流量迂回，减少传输距离的同时也减少了设备跳数，可以实现 X2/Xn 流量就近转发，可以降低交互的时延。

层 3 VPN 部署到边缘，可以避免层 2/层 3 桥接带来的复杂性和可靠性问题，如 ARP 同步、层 2/层 3 联动等。端到端层 3 组网除了可以实现东西向流量就近转发降低时延外，组网业务配置将简单化，故障定位也会更便捷。

3.3.2 分组设备低时延转发

传输网分组设备转发时延是影响传输网业务传输时延性能的重要因素之一，现有的分组设备转发时延已经较低，但 URLLC 场景下仍有进一步优化的空间。通过在分组设备内部添加专用的时延敏感调度模块，在正常业务流程上叠加超低时延转发流程，协调不同的转发资源，可以实现特定业务的超低时延转发，将业务单跳转发时延下降一个数量级，达到 us 级别，有效降低 URLLC 业务的传输网转发时延。

3.3.3 SR 隧道选取

对于 URLLC 业务，采用 SR-TE 隧道结合 SDN 的技术可以选择满足低时延要求的最优路径。SDN 控制器根据 URLLC 业务的 SLA 要求计算隧道的转发路径并生成标签栈下发到转发设备。在 SR-TE 隧道的源节点，转发设备依据标签栈即可控制数据包在网络中的传输路径。网络中间设备不感知隧道，仅通过对源节点的报文进行标签操作即可任意控制业务路径，无需逐节点下发配置。

当路径中的某个节点发生故障，由控制器重新计算路径并更新入节点的标签栈，即可完成路径调整。相比于传统隧道技术，SR 不需要在中间节点上维护隧道路径状态信息，提升了路径调整的灵活性和网络可编程能力。

4 URLLC 场景网络部署方案

4.1 端到端网络切片方案

5G 对 ITU 划分的三大应用场景定义了不同的切片/业务类型，其中 URLLC 的切片类型定义为 2，在同一类切片之下，还可以再次进行资源的划分，形成更低一层的子切片，比如 URLLC 子切片还可以按需分为：远程驾驶子切片、工业制造应用子切片、电力应用子切片等，5G 网络支持子切片的按需配置和资源隔离。

5G 端到端网络切片通过将网络资源灵活分配，网络能力按需组合，基于一个 5G 网络虚拟出多个具备不同特性的逻辑子网。每个端到端切片均由核心网、无线网、传输网子切片组合而成，并通过端到端切片管理系统进行统一管理。切片的逻辑架构如下图：

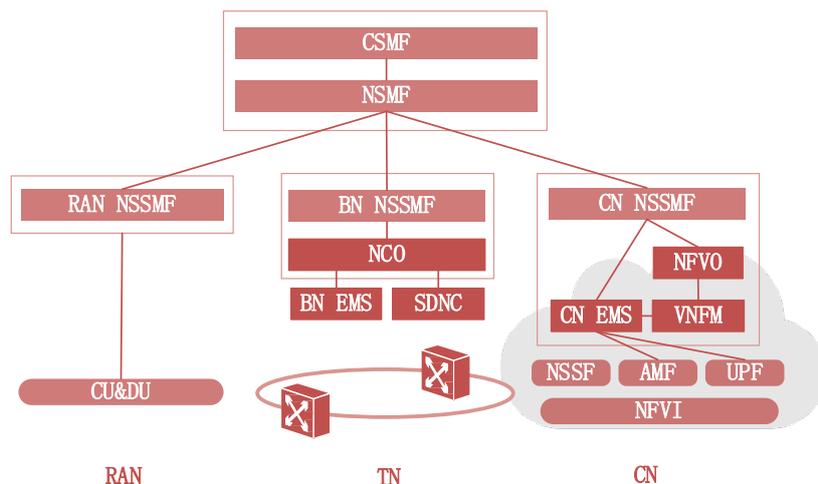


图 10 网络切片架构示意图

URLLC 场景下的 5G 网络切片可以提供灵活的组网、安全隔离、切片能力开放等能力，满足不同的业务需求。为了满足 URLLC 的应用需求，通过切片管理系统，在一个 5G 网络中虚拟出一个端到端的低时延、高可靠的网络，这个切片网络包括无线，核心网，传输网三个子切片，通过子切片分工协同以满足 URLLC 端到端性能指标要求，其特点包括：

- URLLC 切片管理系统能够根据 SLA 需求，提供 QoS 保证，能够把 SLA 的要求，如时延、带宽等，拆分到核心网子切片、承载子切片和无线子切片；
- 在切片内，无线和核心网可以根据以 QoS 流为粒度控制业务质量，承载子切片内可以进一步基于 DSCP 进行 QoS 控制；
- URLLC 用户接入时，可以基于终端的切片信息 NSSAI、DNN、签约信息、终端位置等参数进行切片选择；
- 无线子切片根据不同的可靠性要求，选择 URLLC 的冗余方案；
- 独立的 URLLC 安全策略可以按需部署，在切片的设计、部署、运行和释放的整个生命周期管理过程中保证 URLLC 切片的安全性需求。

4.2 边缘云方案

边缘云平台是在靠近人、物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的开放平台，可以就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

中国联通是 5G 网络与 MEC 相结合的推动者之一,对于 URLLC 典型业务,可以通过对边缘云平台分层级优化,提升网络对业务低时延与高可靠性保障的能力。中国联通边缘云平台主要分为:基础设施层、平台能力层、业务使能层、管理编排等几个部分。

基础设施层主要包括硬件层和虚拟化层。硬件方面的处理时延主要取决于硬件设备的自身架构和材质。虚拟化层主要指边缘云可提供的虚拟资源。为了应对 URLLC 业务中对时延苛刻的要求,目前可考虑的方式有:采用容器资源池或裸金属资源池。容器化资源池主要是应对在 5G 网络业务需求多样化的背景下,利用轻量级的容器技术,配合微服务、DevOps 等技术概念,能够提升平台架构的灵活性和丰富性。裸金属资源池(Bare Metal)作为专属物理服务器,在拥有弹性灵活的基础上,具有高性能的计算能力。计算性能与传统物理机无差别,具有安全物理隔离的特点。对于数据安全和监管有严格要求的 URLLC 业务,提供裸金属服务器也是更为合适的方案。

中国联通边缘云可以提供定制化的平台能力。按照能力类型区分,可以包括:基础平台能力、运营商无线能力、云边协同能力以及断网续传能力等。基础平台能力,如平台分流可降低端到端时延,平台安全能力可以为 URLLC 业务提供业务层面的可靠性保证。运营商无线能力可用于业务侧进行空口优化和 QoS 优化。云边协同能力则可以实现“中心云-区域云-边缘云-终端”各个层级的协同及保障。在云边协同能力的保证下,可实现 URLLC 业务的快速迁移和无故障连续性保证。断网续传能力可以保障边缘云在断网或弱网情况下提供数据恢复能力,断网时保存在本地,恢复以后再传至中心云或区域云,是 URLLC 业务高可靠的重要增强技术之一。

管理编排层:对业务和虚拟化网元进行管理和编排。通过精简管理流程,完成对业务的创建、修改、删除以及资源弹性扩缩容等。利用自动化及无人值守运维功能,依靠大数据和 AI 等技术,驱动运维进一步走向智能,对 URLLC 场景提供更灵活和更敏捷的可靠性保证。分层级资源调度能力,是指取消原有统一资源调度的方式,改为将调度能力下沉至“边”,结合实际场景搭建统一的计算框架,达到最优的效果。

另外,边缘云还可以提供状态迁移能力。该能力是指边缘云平台应打通各层级之间的网络互通和数据互通,以确保在某层边缘算力紧张的时候,进行算力的迁移,即在另外一个层级快速恢复新的服务;对应 IDC 内部其实就是虚机和容器的迁移。如无法实现边缘虚拟机和容器的迁移,则可考虑将关键的状态进行迁移,或定期同步备份,以确保能极低的延时重建服务,确保用户体验的连续性。

4.3 核心网功能单元部署方案

URLLC 场景要求极低的端到端通信时延，同时在组网方面需要提高数据传输的可靠性。而从核心网硬件设备的部署角度分析，不同的设备部署方案主要影响通信时延特性。综合考虑时延指标以及核心网的私有化需求，存在两种部署方案：

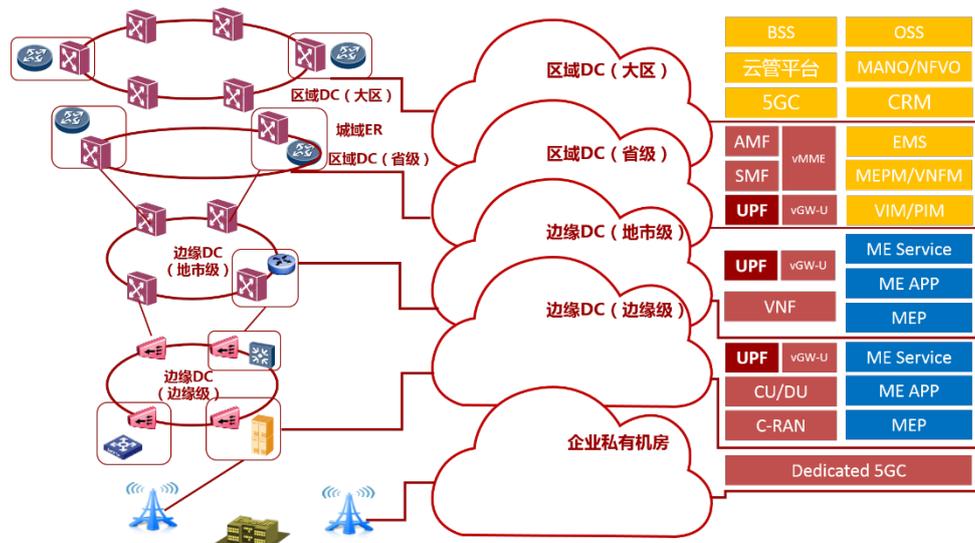


图 11 核心网网元部署示意图

方案一：核心网控制面和云计算控制面集中部署在大区或省级的区域 DC 内部，用户面按业务需求或垂直行业需求采取下沉部署，下沉部署的 UPF 可以部署在边缘 DC 地市级、边缘 DC 边缘级或者工厂园区、甚至企业机房内部，降低终端到 URLLC 应用端的距离，从而降低端到端的时延。在 URLLC 的应用部署与 MEC 相结合的场景下，UPF 可以与 MEC 独立部署，但也可以与 MEC 融合部署，以进一步降低端到端时延。

在该部署方案中，5G 控制面网元主要考虑 URLLC 业务与其他非 URLLC 业务公用的方案，核心网的 URLLC 保障技术可以考虑其覆盖范围内业务的按需增强。若 URLLC 场景的控制面网元部署在大区不能满足时延要求，如要求终端从 IDLE 态到连接态的转换时长要求特别严苛，或行业应用有明确的需求，则可以考虑控制面网元非公用的下沉部署方案。

UPF 作为数据的核心网处理单元，可以根据需要部署在不同的位置，而控制面必须基于终端的参数配置和终端的位置，如切片信息，DNN，TA 等进行灵活的 UPF 选择。同时为保持用户在移动过程中业务连续性，可以插入上行分类器或者分流点进行上行数据分流，降低网络时延。

方案二：向垂直行业提供专用的核心网，在此方案中，整个 URLLC 核心网都将部署在企业园区内部，这种部署方式的好处是核心网是企业专用的，核心网的参数以及策略可以根据垂直行业的应用要求进行灵活调整和优化，充分满足 URLLC 场景的实际需求，且网络的隔离度高，网络安全以及私密性更好。但网络部署的成本也将随之增加。

在上述两种方案中，作为数据转发和处理的 UPF，为了降低转发时延，根据需要可以采用软件加速、硬件加速，专用器件，网络隔离，简化转发策略等手段来降低数据包在 UPF 内的时延。从提升网络可靠性的角度，需要考虑网络的冗余，可选择方案包括：双连接多 PDU 会话、双隧道方式以及传输冗余。

4.4 无线网部署方案

4.4.1 URLLC 软件功能适配方案

超可靠与低时延是 5G 发展演进中最为显著提升的网络性能指标，也是网络承载新业务以及突破垂直应用的新动能。受限于网络部署频段、网络制式、帧结构以及子载波间隔等配置方案的严苛限制，以及运营商对不同频段 5G 网络的定位，商用部署的 5G 网络所实现的时延以及可靠性指标也将大不相同。

5G 网络的潜在部署频段主要包括低中频 FDD 频段、中频 TDD 频段以及毫米波 TDD 频段。对于不同频段的 5G 网络 URLLC 功能部署的初步考虑如下：

- **中频 TDD 频段**

中频 TDD 频段是运营商 5G 网络部署的主流频段，也是实现城区连续覆盖的主力频段，主要面向普通消费者用户以及部分行业用户。受 TDD 的网络制式以及固定的帧结构配置影响，中频 TDD 网络的时延指标提升难度较大，且中频 TDD 网络的容量一般以下行为主。因此，对于提供连续覆盖的中频 TDD 网络，可以以提升运营商网络品牌竞争力、优化业务体验为目标，按覆盖区域内的业务需求选择性升级部分无线侧 URLLC 关键技术。

- **低中频 FDD 频段**

低中频 FDD 网络可以用于提升 5G 的覆盖并在一定程度补充网络容量。受益于 FDD 网络制式频分双工的天然优势，低中频 FDD 网络将更有利于承载有极低时延、极高可靠性需求的业务。因此，该频段存在满足极限指标需求的 URLLC 应用的能力，在面向具有 URLLC 典型需求的行业客户场景部署时，在点状覆盖

的区域内需要全面考虑 URLLC 关键技术的升级方案。

- **毫米波频段**

毫米波频段采用 TDD 制式，但由于支持更大的子载波间隔配置，且非连续覆盖的毫米波频段网络具备帧结构灵活配置的能力，所以毫米波频段网络满足 URLLC 业务低时延要求的能力将高于中频 TDD 频段的网络。此外，毫米波频段的系统带宽更大，在部分对系统容量、网络时延同时有较高需求的场景，部署具备 URLLC 特性的毫米波频段与中低频 FDD 频段的 5G 网络将是更好的选择。

综上所述，由于不同频段 5G 网络配置的不同，在考虑满足业务时延以及可靠性极限性能指标能力方面，低中频 FDD 网络将优于毫米波 TDD 网络，而中频 TDD 网络的时延性能调整相对困难，因此，不同频段无线网络考虑 URLLC 技术特性升级的重要性也将各不相同。

4.4.2 面向用户的 5G URLLC 无线网络方案

4.4.2.1 面向普通消费者用户的 5G URLLC 无线网络方案

在全球 5G 网络部署的主流核心频段中，时分双工是无线网络工作的主要方式。在中频段 TDD 的无线网络制式下，若 5G 网络将主要面向普通消费者用户，需要以满足 eMBB 应用场景为主要目标进行网络部署。随着 5G 网络部署的推进，低中频段的 FDD 5G 网络可以进一步提升网络覆盖，补充网络容量。

考虑在未来面向普通消费者的场景下，随着业务的发展，如 AR/VR、云游戏以及超高清视频直播等业务的普及，普通消费者用户对于网络的实时性以及可靠性均会有较高的要求。根据业务需求，在网络中选择性的升级部分 URLLC 关键技术，会有利于显著提升用户体验。

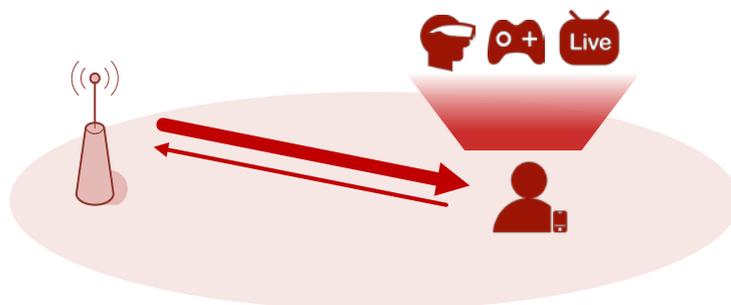


图 12 中频 TDD 网络面向 URLLC 业务示意图

在面向普通消费者的场景下，中频段 TDD 制式的 5G 网络以及低中频段

FDD 制式的 5G 网络应该以增强 5G 网络可靠性以及优化网络业务时延为目标，采用 URLLC 关键技术增强 eMBB 业务以及 URLLC 业务在时延方面的体验，打造城区连续覆盖且具备一定 URLLC 特性的增强型 5G 网络，将有利于提升运营商的网络品牌价值。

4.4.2.2 面向行业用户的 5G URLLC 无线网络方案

4.4.2.2.1 低中频 5G URLLC 网络

为了满足 URLLC 场景 1 ms 时延以及不同典型业务 99.999%~99.9999%可靠性的极限指标需求，FDD 制式的 5G 网络将是潜在的网络方案选择之一。支持在对称频点部署 FDD 5G 网络的频段主要分布在低频以及中频段，因此，FDD 制式的 5G 网络覆盖特性相对较好。此外，由于 5G 支持灵活子载波间隔配置以及符号级的 mini-slot 业务调度，因此，相比 TDD 组网，FDD 制式下，采用“较小子载波间隔+mini-slot 调度”甚至“较大子载波+mini-slot 调度”的网络配置方式，可以显著降低无线网络业务的传输时延。

面向行业应用，可以按照具体的业务需求，为该区域的低中频 FDD 网络全面升级 URLLC 关键技术。以配电自动化为例，FDD 组网的 URLLC 特性将可以满足配电自动化终端对配电网线路及设备状态检测需求，实现故障的快速检测及定位，降低故障对配电的影响。

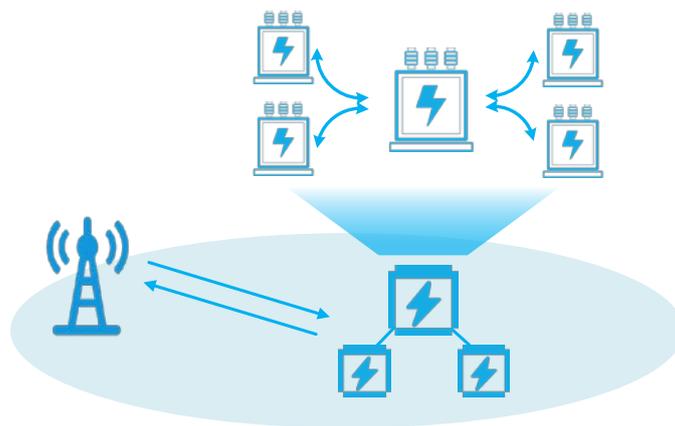


图 13 低中频 FDD 网络面向 URLLC 行业应用示意图

中频 TDD 网络在面向具备 URLLC 极时延与极高可靠性场景的行业用户时，需要考虑更快的上下行链路切换方案，需要考虑该部署频段的同频与邻频干扰问题。对于可以在面向行业用户时实现帧结构调整的中频 TDD 5G 网络，同样可以全面考虑 URLLC 技术的升级方案，以满足行业用户需求。

全面部署 URLLC 关键技术的低中频 5G 网络可以有效保障无线网络的时延及可靠性指标，有利于运营商定向突破行业应用，挖掘网络应用的新蓝海。

4.4.2.2.2 混合组网 5G URLLC 网络

由于低中频段频谱资源的匮乏，面向部分行业应用，FDD 网络的网络容量方面容易受限。采用低中频 FDD 网络与中频 TDD 网络或者毫米波 TDD 网络混合组网，可以在时延、可靠性以及网络容量方面为全面满足垂直行业应用需求提供可行性。

在混合组网的 URLLC 网络下，以全方位满足行业需求，深度挖掘行业应用为目标，FDD 与 TDD 制式的 5G 网络均需要考虑全面升级 URLLC 关键技术。以工业场景为例，采用 FDD 网络可以满足常规的远程集中自动化控制类应用的业务需求；而 TDD 网络由于容量更大，且存在上下行带宽灵活调整的机制，可以满足远程操控、机器视觉等应用在低时延、高可靠性以及上行大带宽方面的业务需求。因此，混合组网的 URLLC 网络可以更全面的满足行业客户需求。

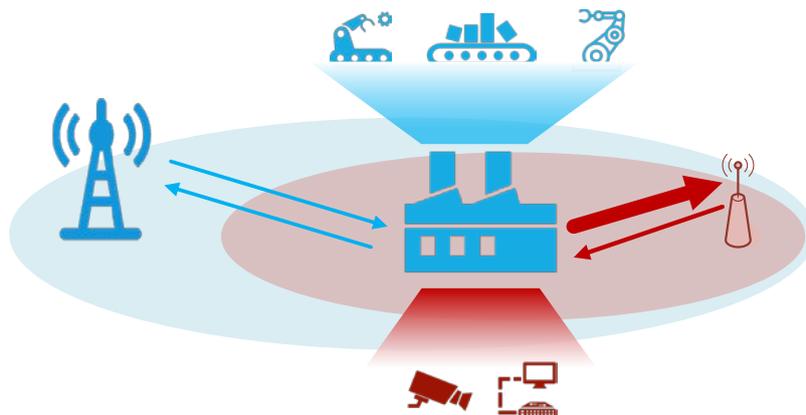


图 14 混合组网面向 URLLC 行业应用示意图

在混合组网的方案中，考虑不同的部署频段，可以分为：

- 低中频 FDD+中频 TDD 异构混合组网方案

在中频 TDD 网络以面向普通消费者用户实现了区域性连续覆盖的情况下，在面向行业 URLLC 应用覆盖时，为了满足 URLLC 业务极限指标的时延需求或者上行业务的大带宽需求，中频 TDD 网络的帧结构存在调整的需求，此时会面临中频 TDD 网络同频以及邻频的干扰问题。因此，该混合组网方案更适合中频 TDD 网络未连续覆盖的郊区或者室内孤岛场景使用，且需要在邻频存在干扰的场景下，为系统的工作带宽预留一定的保护频带。

- 低中频 FDD+毫米波 TDD 异构混合组网方案

毫米波 TDD 5G 网络可以支持最大 120 kHz 的业务信道子载波间隔以及最大 400 MHz 的系统带宽，在同为 TDD 制式的情况下，采用相同的帧结构配置，毫米波频段网络也可以比中频网络提供更低的时延以及更大的容量。毫米波频段的 5G 网络更适合非连续的覆盖部署，因此毫米波网络也可以在不同覆盖区域灵活的调整帧结构配置，更好的满足不同的 URLLC 应用的时延与容量需求。

从 URLLC 网络方案分析，不论是低中频 FDD 网络与中频 TDD 网络进行异构混合组网，还是与毫米波 TDD 网络进行异构混合组网，其所能提供的网络能力都将超过单一结构的组网方案，但同时面临着网络部署方案复杂、成本高昂的问题。

综上所述，对于不同的 URLLC 网络部署方案，所能提供的网络能力也不尽相同。网络能力越强的组网方案，也对应着越高的组网与运维成本，面向不同的 URLLC 场景，定制化的 5G 网络将是运营商与客户实现双赢的有力保障。

5 关键问题及挑战

随着在无线网络技术的演进以及网络能力的提升，网络所面向的用户以及承载的业务种类将逐渐增多。5G 网络的低时延及高可靠特性不仅可以用于提升传统业务的用户体验，而且面向满足未来诞生的新应用以及行业新场景的需求。而在 5G 网络满足 URLLC 性能指标需求、用户拓展以及网络部署等方面，仍面临着众多的问题与挑战。

- 产品实现：

5G 满足 URLLC 特性的技术标准正处于不断完善以及演进的进程中，考虑部署频段的区别，满足 URLLC 极限性能指标的网络设备需要进一步的完善软硬件的开发。此外，为了深入挖掘行业客户，满足行业应用需求，存在对可融合工业协议、可区域性轻量化部署的定制通信设备的需求。推动性能稳定、价格合理的网络、模组以及终端产品的成熟是现阶段推动 5G URLLC 场景应用发展的重要挑战之一。

- 网络部署：

URLLC 场景的潜在应用种类繁多，不同场景对于容量、时延以及可靠性等网络性能指标的要求千差万别。延用一种组网方案覆盖全部应用场景的思路，将给运营商的网络部署以及运维带来极大的资金与人力成本压力，同样不利于网络

用户的成本降低。定制化设计面向 URLLC 场景的组网方案，以业务为中心，按需规划 5G 网络的软件特性，将更有利于 5G 网络在垂直行业的推广应用。

- **业务发展：**

随着运营商传统用户以及流量红利的消失，拓展新用户与新应用是具备 URLLC 特性 5G 网络的天然使命。典型的 URLLC 业务主要分布在垂直行业内，如工业、电力、医疗等领域，在 5G 向行业应用发展的过程中，运营商需要深入行业开展研究，帮助客户挖掘行业应用与 5G 网络结合的需求，明确不同行业应用对于 5G 网络性能指标的具体需求是未来 URLLC 典型业务发展过程中面临的重要挑战。

- **运营模式：**

URLLC 业务在垂直行业扩展，面临着 5G 无线网络与传统固网、蓝牙以及 WIFI 等技术的竞争，除网络性能区别外，客户的生产成本将成为这种竞争关系中至关重要的因素。运营商在推广 URLLC 典型业务接入 5G 网络的过程中，创新性的制定与传统网络不相同的网络运营以及维护模式，才能实现客户与运营商的双赢，为多方带来利润增长点与增长空间。

综上所述，作为 5G 新引入的典型通信场景，URLLC 的推广与普及面临着一系列全新的问题与挑战。与此同时，挑战与机遇并存，URLLC 也将为 5G 未来的应用带来了更多的契机与遐想。

6 总结与展望

5G URLLC 技术以增强无线网络业务传输的低时延与高可靠特性为目的，包含了无线网、传输网以及核心网的主要关键技术。URLLC 相关技术不仅可以服务于典型的 URLLC 类业务，在典型的 eMBB 应用场景下，运营商也可以考虑引入 URLLC 技术，打造差异化的 5G 网络，提高网络用户的业务体验，提升运营商的网络口碑。

现阶段典型 URLLC 业务主要分布于垂直行业领域，包括工厂自动化、电力分发以及远程驾驶等；在个人消费者领域尚无明确的应用，业界分析预测未来 AR/VR 以及超高清直播业务将是具备低时延超可靠需求的应用。因此，5G URLLC 网络将面临场景混合化、业务陌生化、需求碎片化的问题。

- **场景混合化：**从网络角度分析，eMBB 业务与 URLLC 业务在相同的覆盖范围内将并存；从终端角度分析，可能存在同一终端既有 eMBB 业

务、又有 URLLC 业务情况：

- 业务陌生化：典型 URLLC 业务将以行业领域应用为主，现阶段运营商在部分垂直行业的拓展广度与深度都较低，需要进一步深入挖掘研究 URLLC 典型业务；
- 需求碎片化：在垂直行业领域，存在众多设备的连接需求，不同场景组网环境千差万别，不同应用对于网络时延、可靠性以及上下行吞吐量的需求不一致，且行业客户对网络安全、网络私密性以及隔离性都存在独特的需求；

综上所述，下一阶段，中国联通在深入研究端到端 5G URLLC 关键技术的同时，将联合产业链上下游的合作伙伴，共同推动具备 URLLC 特性的网络与终端设备的产品成熟，并完成功能验证。此外，中国联通将与垂直行业客户积极沟通，设计定制化的覆盖方案，打造典型的 5G URLLC 示范网络，完成 5G URLLC 网络在垂直行业的性能验证，推动 5G 与行业应用的融合。

缩略语

5GC	5G Core Network	5G 核心网
AF	Application Function	应用功能
AMF	Access and Mobility Management Function	接入与移动性管理功能
BWP	Bandwidth part	部分带宽
CB	Code Block	编码块
CBG	Code Block Group	编码块组
CORESET	Control Resource Set	控制资源集
DC	Data Center	数据中心
DNAI	Data Network Access Identifier	数据网络接入标识
DNN	Data Network Name	数据网络名称
DSCP	Differentiated Services Code Point	差异化服务代码点
eMBB	evolved Mobile Baseband	研究的移动带宽
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	混合自动请求重传
INT-RNTI	Interruption-RNTI	中断 RNTI
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
LADN	Local Area Data Network	本地数据网
MCS	Modulation and Code Scheme	调制编码方案
MEC	Multi-access Edge Cloud	多接入边缘云
mMTC	massive Machine Type Communication	海量机器类通信
NSSAI	Network Slice Selection Assistance Information	网络切片选择辅助信息
PCF	Policy Control Function	策略控制功能
PDU	Protocol Data Unit	协议数据单元
PFCP	Packet Forwarding Control Protocol	报文转发控制协议

PI	Preemption Indication	优先指示
PSA	PDU Session Anchor	PDU 会话锚点
QFI	QoS Flow Identifier	服务质量流标识
QoS	Quality of Service	服务质量
RNTI	Radio Network Temporary Identifier	无线网络临时标识
SDU	Service Data Unit	服务数据单元
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
SMF	Session Management Function	会话管理功能
SR-TE	Segment Routing-Traffic Engineering	分段路由流量工程
TB	Transmission Block	传输块
TEID	Tunnel Endpoint Identifier	隧道终点标识
UPF	User Plane Function	用户面功能
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication	超可靠低时延通信